

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra Energetiky

Využití odpadního tepla z technologie chlazení

Utilization of Waste Heat from Cooling Technology

Student: Martin Nedbal

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jiří Nezhoda, Ph.D.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Nedbal**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **3907R009 Provoz energetických zařízení**
Téma: **Využití odpadního tepla z technologie chlazení**
Utilization of Waste Heat from Cooling Technology

Zásady pro vypracování:

Navrhnete způsob využití odpadního tepla z technologie chlazení mrazírenského skladu.

Práce bude obsahovat:

1. Analýzu současného stavu a perspektivy využívání odpadního tepla z chlazení.
2. Návrh systému, dispoziční řešení.
3. Stanovení energetických zisků.
4. Ekonomické a environmentální hodnocení
5. Grafickou část - schéma zapojení

Seznam doporučené odborné literatury:


KYSELA, L. *Využití druhotných zdrojů energie*. Poznámky k přednáškám. Ostrava: Katedra energetiky Fakulty strojní VŠB-TU Ostrava 2001, doplněné a opravené, leden 2004 a leden 2007.
LANGFELDER, I. a kol. *Energetika chemického a potravinářského průmyslu*. Bratislava: Nakladatelství Alfa Bratislava 1992. ISBN 80-05-00998-4.
KOLARČÍK, K. VRTEK, M. *Možnosti úspor energie*. Praha: Technologické centrum AVČR, 2002.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Nezhoda, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012


prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry

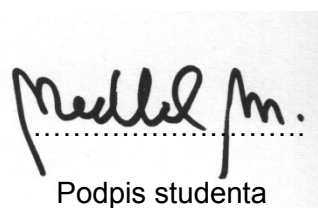



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne: 21. 5. 2012

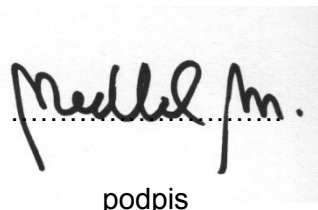


Podpis studenta

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/200 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše)
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne: 21. 5. 2012



podpis

Jméno a příjmení autora práce: Martin Nedbal

Adresa trvalého pobytu autora práce: Podkopčí 62, 74401 Frenštát p.R.

ANOTACE

NEDBAL, M. Využití odpadního tepla z technologie chlazení: bakalářská práce. VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2012, 35 stran, vedoucí: Nezhoda, J.

Tato bakalářská práce je zaměřena na využití odpadního tepla z chlazení mrazírny. V první části práce popisují možné druhy způsobu chlazení, jejich princip a výhody, dále možné způsoby využití odpadního tepla. Ve druhé části se věnují své problematice s konkrétním případem a to mrazírna určená k udržování stálé teploty, kde navrhuji projekt, jak využít odpadní teplo z již nainstalovaných kondenzačních jednotek pomocí vhodného výměníku tepla. V poslední části se věnují ekonomické návratnosti projektu a podílu ušetřenému množství CO₂ díky využití odpadního tepla.

ANNOTATION

NEDBAL, M. Utilization of Waste Heat from Cooling Technology: Bachelor Thesis. VŠB-Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energetics, 2012, 35 pages, Thesis head: Nezhoda, J.

This Bachelor's dissertation is focused on utilization waste heat from cooling freezers. In the first part of my work I describe some kinds of cooling, their principles and benefits, further possible use of waste heat. In second part I deal with problem with specific case, a freezer determined for maintain constant temperature, where I propose a project, how to use waste heat, from already installed condensing units, using suitable heat exchanger. In last part, I deal with economic recovery and a share of saved CO₂ thanks using waste heat.

Obsah:

Seznam symbolů a značek	7
1 Úvod	8
2 Způsob chlazení:	9
2.1 Kompresorové chlazení:	9
2.1.1 Princip chlazení:	9
2.2 Absorpční chlazení:.....	10
2.2.1 Pracovní princip:.....	11
2.2.2 Absorpční chladiče	14
2.2.3 Přednosti absorpčních systémů:.....	15
3 Možnosti využití odpadního tepla:	16
3.1 Odpadního tepla	16
3.2 Využitelnost odpadního tepla	16
4 Výměník tepla	17
5 Návrh projektu	18
5.1 Chladivo	19
5.2 Kondenzační jednotka.....	19
5.3 Výpočet odpadního tepla	19
5.4 Výměník tepla	20
6 Stanovení energetických zisků	22
7 Hodnocení projektu	23
7.1 Ekonomické hodnocení	23
7.2 Environmentální hodnocení	23
8 Závěr	25
9 Seznam použité literatury	26
10 Seznam příloh	28

Seznam symbolů a značek

Q_t	[W]	Tepelný výkon
Q_{chj}	[W]	Chladicí výkon jednotky
T	[K]	Teplota (absolutní)
c	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	Měrná tepelná kapacita
i_1	[kJ·kg ⁻¹]	Entalpie chladiva na výstupu z výparníku
i_2	[kJ·kg ⁻¹]	Entalpie chladiva na vstupu do kondenzátoru
i_3	[kJ·kg ⁻¹]	Entalpie chladiva na výstupu z kondenzátoru
i_4	[kJ·kg ⁻¹]	Entalpie chladiva na vstupu do výparníku
\dot{m}_{ch}	[kg·s ⁻¹]	Množství obíhajícího chladiva
t'_1	[°C]	Teplota chladiva při vstupu do výměníku
t'_2	[°C]	Teplota vody při výstupu z výměníku
t''_1	[°C]	Teplota chladiva při výstupu z výměníku
t''_2	[°C]	Teplota vody při vstupu do výměníku

1 Úvod

Využití odpadního tepla ze zdrojů, které vyzařují teplo v jakékoliv formě, je dnes věnována značná pozornost a jeden z těchto zdrojů v malém využití je v chladírenské technice. Období levné energie patří minulosti, a proto je třeba primární energii nejen ušetřit, ale ještě ji zhodnotit.

Značných energetických úspor lze dosáhnout právě využitím odpadního tepla z chladicího zařízení, které je v provozu prakticky celý rok a kondenzační teplo je v mnoha případech odváděno do ovzduší bez dalšího využití

V této bakalářské práci je zpracována studie kondenzačních jednotek v objektu, ve kterém je umístěna mrazírna. V mrazírně se udržuje konstantní teplota $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. V první části bude navržena možnost využití odpadního tepla pro předehřev teplé vody pomocí vhodné volby tepelného výměníku. V závěru práce bude uvedeno jednoduché ekonomické a environmentální zhodnocení uspořené prostředků při použití systému na využívání odpadního tepla.

2 Způsob chlazení:

Chladicí zařízení je specializované technické zařízení (stroj nebo přístroj) určené pro chlazení (ochlazování), což znamená úmyslné snižování teploty v nějakém uzavřeném prostoru.

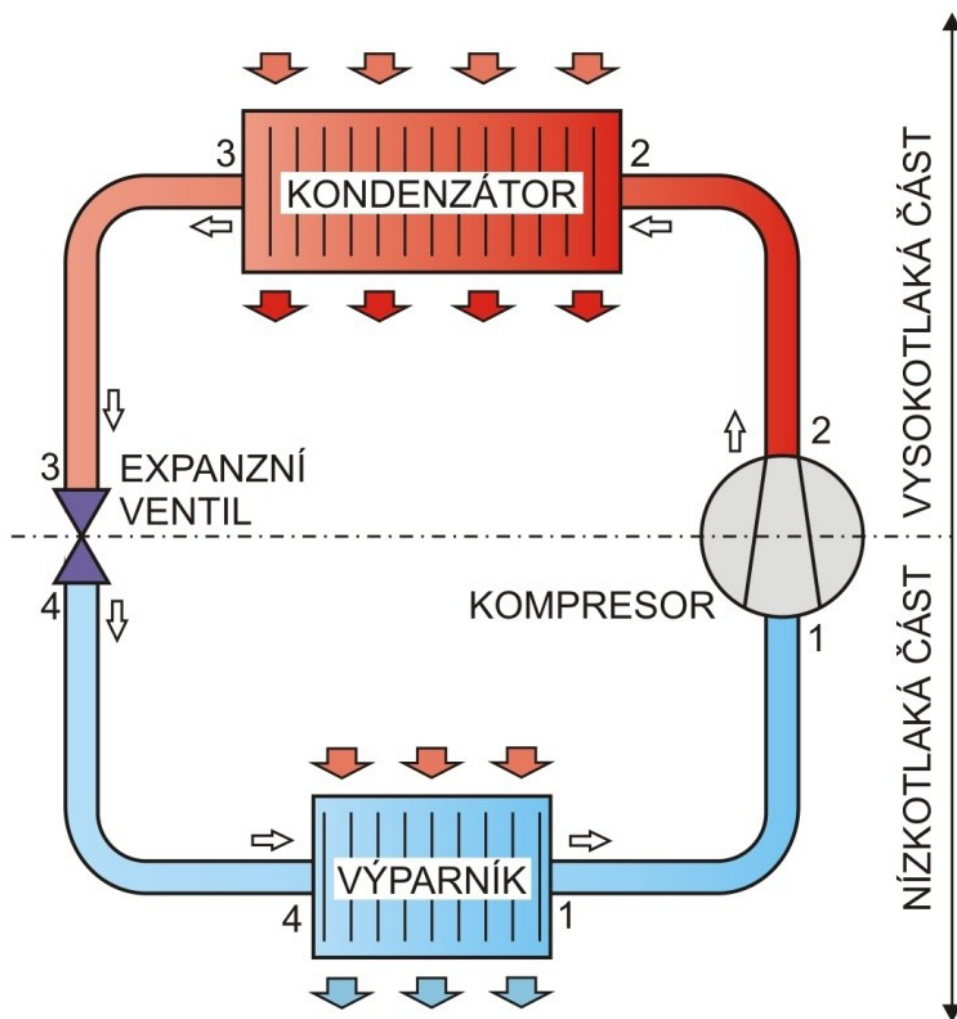
Chladicí technika je komplexní obor, který velkou měrou zasahuje do řešení podstatných problémů lidstva. Snad nejdůležitějším z nich je chránění potravin před jejich znehodnocením, jak z hlediska udržení jakosti, tak i přiměřenosti nákladů. Chladicí technika ovlivňuje materiální výrobu v oblastech hutnictví, strojírenství, chemie, stavebnictví a mnoha dalších odvětvích (zdravotnictví, biologie...)

2.1 Kompresorové chlazení:

Kompresorové chlazení je nejrozšířenější systém chlazení v současné době, domácí chladničky, mrazničky atd.

2.1.1 Princip chlazení:

Chladicí látka je odpařována ve výparníku a při tom pohlcuje teplo ze systému, který má být chlazen. Páry se stlačují na hodnotu tlaku, kdy teplota nasycení par je vyšší než teplota chladiče a následně pak kondenzují a odevzdávají teplo chladiči. Implementace tohoto principu je vcelku jednoduchá. Výparník je udržován na tak nízkém tlaku, že teplota nasycení chladiva je pod teplotou média (vzduch), které se má chladit. Průchodem média přes spirály výparníku dochází k výměně tepla s tekutým chladivem a dojde k odpařování. Pára z výparníku se zahřívá ve výměníku a po stlačení v kompresoru kondenzuje. Kapalina jde zpět do výměníku, ohřívá páry a ochlazuje se. Ochlazená kapalina pod nízkým tlakem přichází do výparníku ve stavu nasycení (nebo blízko stavu nasycení) a cyklus se uzavírá.



Obr. 1-1: Kompresorové chlazení schéma [4]

2.2 Absorpční chlazení:

Absorpční chlazení pracuje na principu, při kterém se plynné chladivo nejdříve pohlcuje a následně vypuzuje z pomocné kapaliny. Silný roztok amoniaku přichází z absorpční nádoby do varníku. Po zahřátí stoupají páry amoniaku vzhůru do kondenzátoru a slabý roztok amoniaku jde do trubice. Vzduch cirkulující žebry kondenzátoru ochlazuje páry amoniaku na tekutý amoniak, který teče do výparníku. Vodík ve výparníku snižuje tlak amoniaku a nutí ho k odpařování. Proces extrahuje teplo z výparníku, který zase extrahuje teplo z ochlazovaného prostoru a teplota se snižuje. Slabý roztok amoniaku, který je udržován v trubici z varníku pohlcuje páry chladiva. Směs vodíku a amoniaku jde zpět do absorbéru, kde se vodík a amoniak oddělí a cyklus se opakuje. Výhodou chladniček pracujících na absorpčním principu je,

že neobsahují žádný kompresor, žádný motor či jinou pohyblivou část. Nedochází zde tedy k žádnému mechanickému opotřebení, k žádným vibracím, přístroje pracují zcela bezhlučně a prakticky bez jakékoliv údržby. Při provozu je jen třeba dbát na to, aby byla lednička umístěna ve vodorovné poloze, jinak ztrácí výkon. Chladicí směs neobsahuje freon, či jiné příměsi poškozující životní prostředí. Chladicí výkon je většinou vyšší než u termoelektrických chladniček a jen o něco nižší než u chladniček kompresorových. Provoz absorpčních ledniček je možný i na plyn (propan-butan, propan). Nevýhodou je velký odběr proudu.

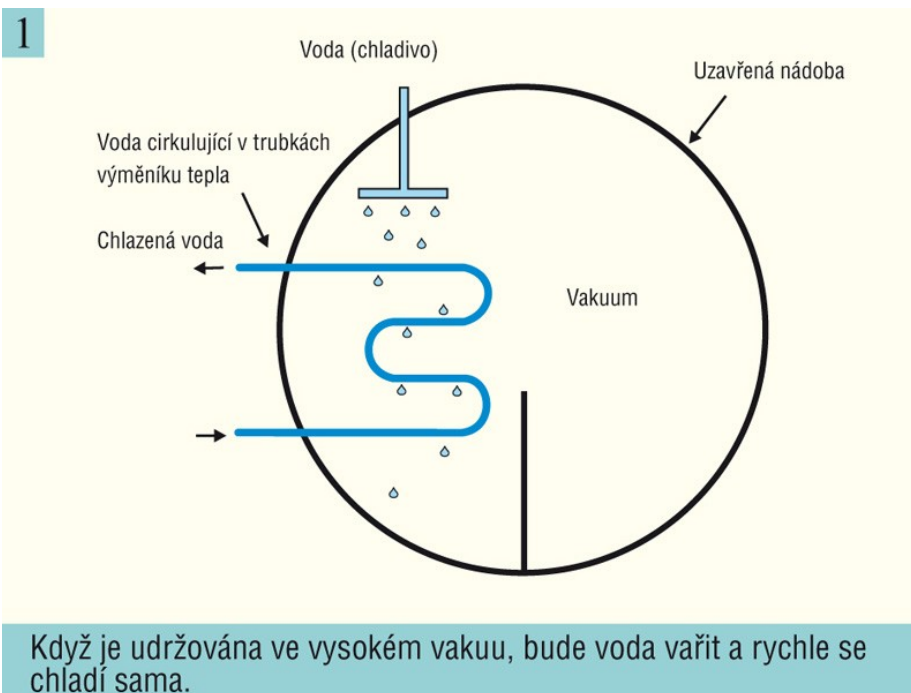
2.2.1 Pracovní princip:

Bod varu vody je přímo úměrný tlaku. Při atmosférickém tlaku se voda vaří při 100 °C. Při nižším tlaku se teplota vody sníží. Při 6 mm Hg absolutního tlaku, je bod varu vody 3,9 °C.

Chcete-li změnit vodu z kapaliny na páru musí být voda zahřátá. Voda pohlcuje teplo a tím teplota začíná stoupat, dokud nedosáhne bodu varu. Na bodu varu teplota zůstává konstantní, ale kapalná voda se vypařuje. Požadované teplo na změnu fáze kapaliny na páru se nazývá Latentní teplo odpařování. Podobně teplo, které je odváděno během vypařování při kondenzaci se nazývá Latentní Kondenzační teplo.

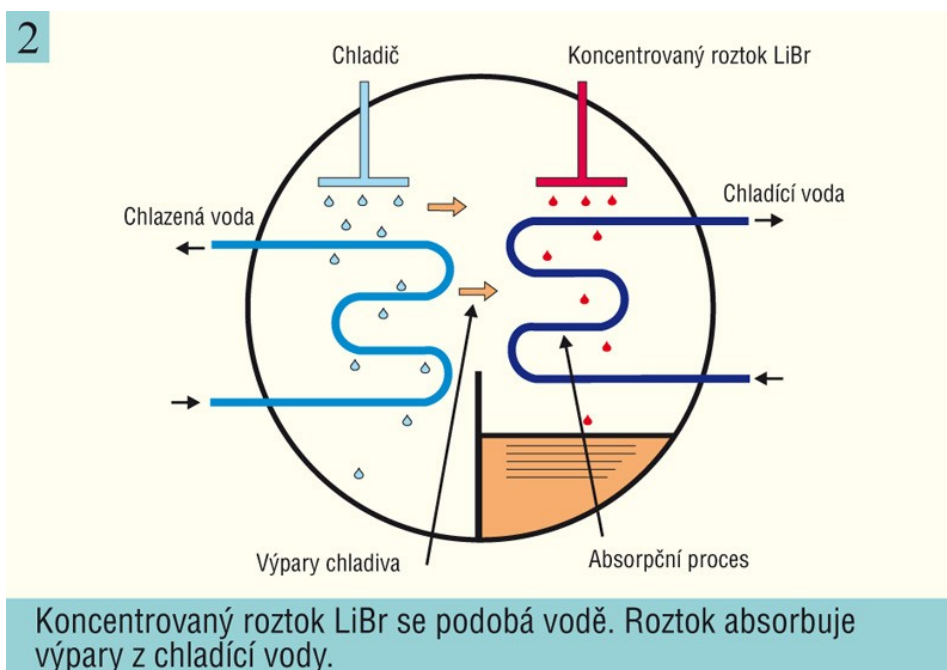
Pro LiBr-vodní systém se absorpce pohybuje přímo úměrně k poměru koncentrace roztoku s vodou a nepřímo úměrně k teplotě roztoku. Bromid lithný (LiBr) je chemikálie rozpustná ve vodě a LiBr-vodní roztok (používaný jako chladivo) má charakteristickou vlastnost absorbovat vodu díky jeho chemickému složení.

Je tam také velký rozdíl mezi tlakem páry LiBr a vody. To znamená, že při LiBr se vodní roztok zahřívá, voda se odpařuje, ale LiBr zůstane v roztoku a stane se více koncentrovaný.



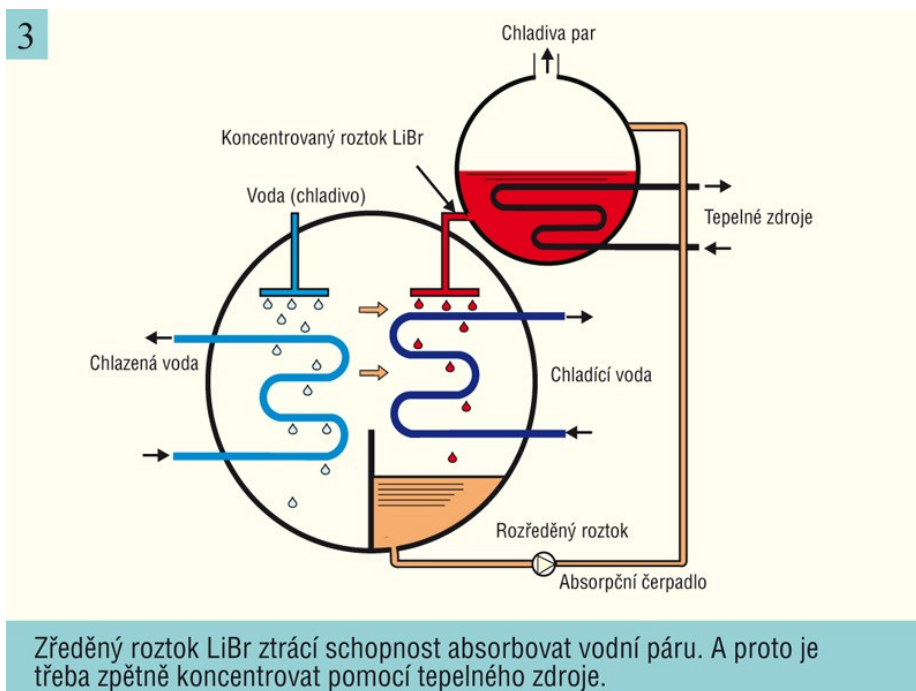
Obr. 2-1: Absorpční chlazení schéma 1 [3]

Absorpční systémy využívají tepelné energie k výrobě chladicího efektu. V těchto systémech chladiivo, tj. voda, absorbuje teplo v nižší teplotě a nižším tlaku během odpařování a uvolňuje teplo ve vyšší teplotě a vyšším tlaku během kondenzace.



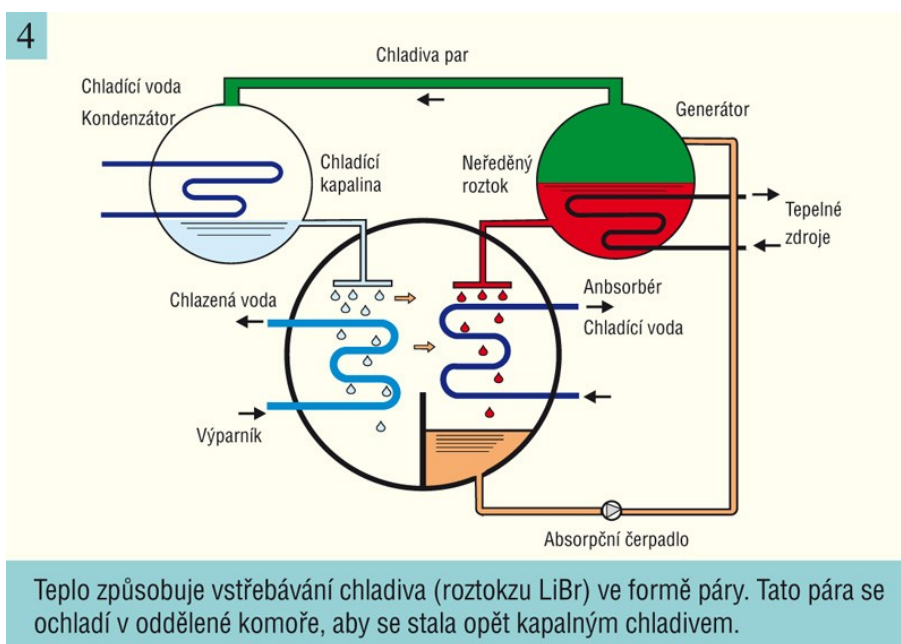
Obr. 2-2: Absorpční chlazení schéma 2 [3]

LiBr roztok, který pracuje jako absorbent absorbuje výpary z chladiva. Odpaření chladiva se koná při nízkém tlaku.



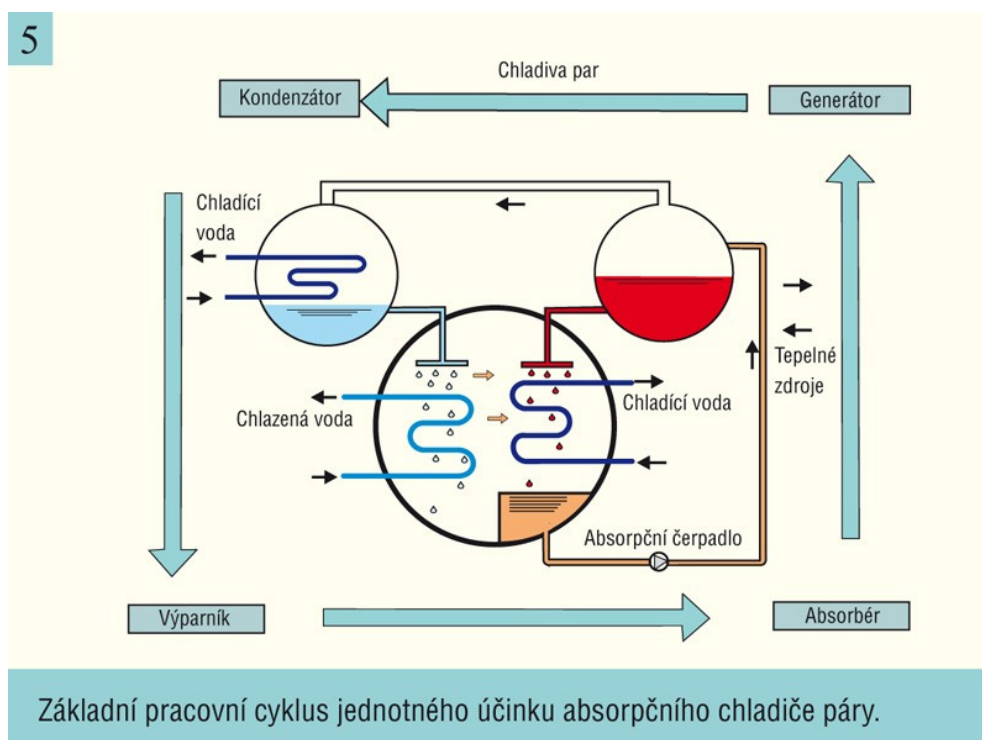
Obr. 2-3: Absorpční chlazení schéma 3 [3]

Zředěný roztok, který obsahuje vstřebávané chladicí páry se zahřívá na vyšší tlak. To vede k vypařování chladiva, a tak si roztok zachová svou původní koncentraci. Cyklus se stále opakuje, aby dosáhl požadovaný mrazivý účinek.



Obr. 2-4: Absorpční chlazení schéma 4 [3]

V ProChill (twin design) absorpčním stroji, nejprve horká voda prochází vysokotlakovým generátorem, a pak přes nízkotlakový generátor ke zvýšení účinnosti cyklu.



Obr. 2-5: Absorpční chlazení schéma 5 [3]

Chladivo prochází sérií procesů k dokončení chladicího cyklu. Jedná se zejména o odpařování, absorpci, proces tlaku, kondenzaci, škrcení a expanzi. Během tohoto cyklu chladivo absorbuje teplo z nízkoteplotního zdroje tepla a uvolňuje jej na vysokou teplotu a klesne.

2.2.2 Absorpční chladiče

Konvenční kompresorové klimatizační chladiče jsou poháněné elektřinou. Na druhé straně používají absorpční chladiče/ohříváče jako svůj hlavní zdroj energie vysokoteplotní ohřev.

V absorpčních systémech je v porovnání se systémy s kompresním cyklem velmi malá spotřeba elektřiny, protože jsou elektřinou poháněná pouze čerpadla. Ovšem investiční náklady na systém jsou mnohem vyšší než pro kompresorový systém. Absorpční chladiče se proto používají většinou pro velké instalace, kdy je omezené množství elektřiny a/nebo je přebytek tepla.

Absorpční chladiče lze použít pro účely vytápění i chlazení současně použitím chladicí vody procesu z absorberu a kondenzátoru.

Aby se zajistilo, že neexistuje kontakt se vzduchem, jsou vyžadovány dusíkový povlak a odzdušnění vakuem. Protože systém pracuje pod atmosférickým tlakem, je také nutné, aby byl systém co nejlépe utěsněn.

2.2.3 Přednosti absorpčních systémů:

Konvenční kompresorové klimatizační chladiče jsou poháněné elektřinou.

Absorpční chladiče používají jako hlavní zdroj energie – teplou vodu, páru, spaliny výfukových plynů, odpadní plyn, nebo odpadní teplo jako takové.

Absorpční chladiče využívají pro svůj chod pouze 5 % elektrické energie ve srovnání s klasickými – kompresorovými chladiči, protože elektřinou jsou poháněna pouze oběhová čerpadla.

Investiční náklady na vybudování systému absorpčního chlazení jsou v dnešní době nepatrně vyšší než systémy s kompresním cyklem.

Provoz absorpčních chladičů je velmi tichý, systémem konstrukce velmi spolehlivý a bezúdržbový.

Nevýhodou absorpčních chladičů je především nepatrně větší rozměr a větší váha zařízení.

3 Možnosti využití odpadního tepla:

3.1 Odpadního tepla

Odpadní teplo není v principu obnovitelným zdrojem, založeným na přírodní energii, ale možností jak využít jinak mařené tepelné energie k výrobě elektřiny. V mnoha průmyslových procesech odpadá množství tepla, které se dnes většinou nevyužívá. Jedná se především o nízko-potenciální teplo různých procesů v metalurgickém, hutnickém, keramickém, papírenském a v potravinářském průmyslu.

3.2 Využitelnost odpadního tepla

1. Předehřev

- napájecí voda parních kotlů
- napájecí voda vyvíječů páry
- vytápěcích systémů
- systémů TUV

2. Ohřev TUV

3. Vytápění

- v topném období možnost podpory vytápění objektu

4. Absorpční chlazení

- nejlepší využití pro absorpční chlazení je v letním období

Využití odpadního tepla pro ohřev TUV vykazuje nejlepší návratnost a je technicky nejlépe proveditelné. Přímé investiční náklady související s instalací rekuperačního výměníku tepla a cirkulačního okruhu ohřevu TUV nepřesáhnou zpravidla cca 20 % ceny chladícího zařízení. Velikost akumulačních nádob TUV je přímo úměrná velikosti a rovnoměrnosti spotřeby TUV v návaznosti na průběh spotřeby chladu.

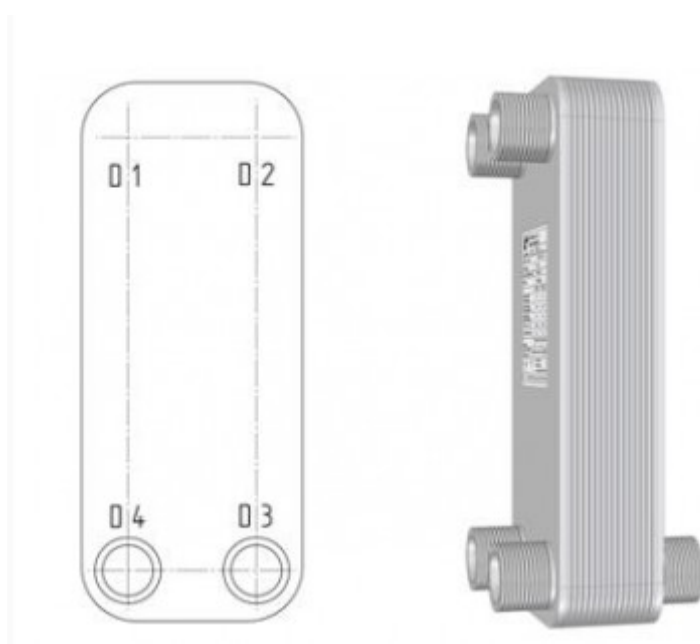
4 Výměník tepla

Výměník tepla je zařízení, ve kterém dochází k přenosu tepla z jednoho druhu média na druhý. Rozdělují se na:

Přímé výměníky – předpokládá se, že se obě média navzájem nepromíchají

Nepřímé výměníky – média jsou oddělena přepážkou, přes kterou teplo prochází

Deskový výměník tepla tvoří soubor desek lisovaných z různých materiálů v závislosti na požadavcích aplikace. Mezi používané materiály patří i grafit, který je aplikován pro použití s velice agresivními médii. Mezi deskami výměníku tepla - díky jejich profilovanému povrchu - vznikají oddělené kanály, kde protéká ohřívané i chlazené médium. Každá deska výměníku tepla je obtékána primárním médiem z jedné strany a sekundárním médiem ze strany druhé. Mezi jednotlivými médii dochází přes stěnu desky k prostupu tepla.

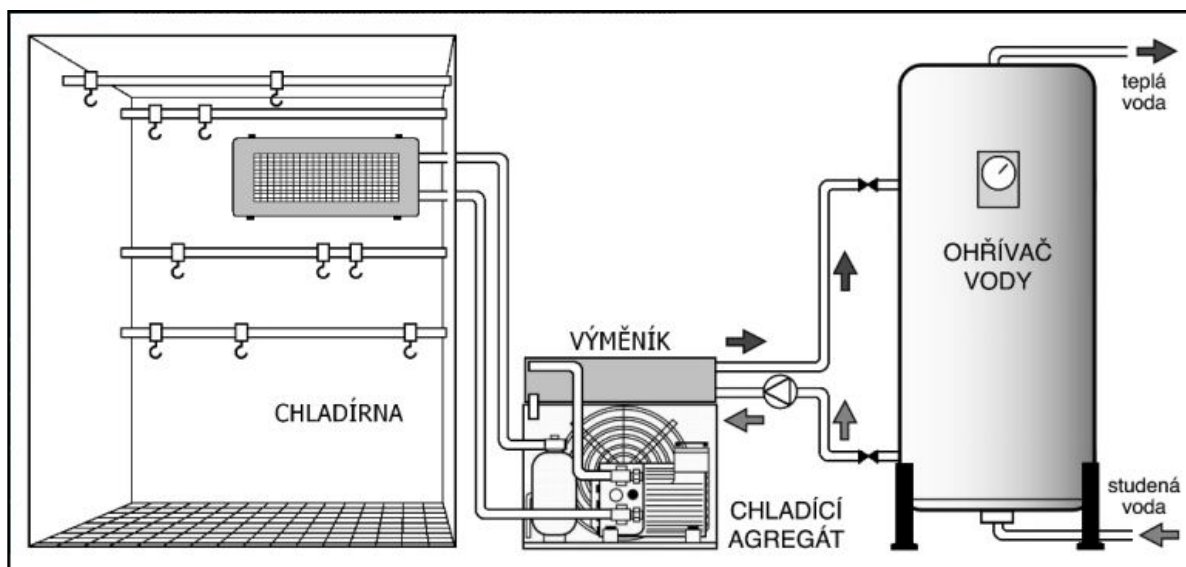


Obr. 4-1: Deskový výměník [13]

5 Návrh projektu

V mém navrhovaném projektu se zabývám kondenzační jednotkou, která má za úkol odebírat teplo z mrazírny, ve které se bude převážně skladovat maso. Tato budova se nachází ve Staré Vsi. Jde o přízemní budovu, která je pokračováním již stojící stavby, v které je také umístěna mrazírna, kanceláře a sociální zařízení. Kvůli určitým skladovacím a hygienickým normám, musí být v mrazírně udržována konstantní teplota $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tuto funkci budou zajišťovat dvě kondenzační jednotky Rivacold s označením MXL250Z052. Tyto jednotky, konstruovány pro chladivo R404A, jsou schopny zajistit chladicí výkon 14,7 kW. (viz. Příloha A)

Toto odpadní teplo z kondenzačních jednotek bude využíváno pro ohřev teplé vody, která bude sloužit pro potřebu zaměstnanců pracujících ve firmě. Odpadní teplo bude pomocí výměníku tepla předávat své teplo jinému médiu, v tomto případě vodě.



Obr. 5-1: Schéma zapojení projektu [9]

5.1 Chladivo

Chladivo R404A nemá záporný vliv na životní prostředí, je hodnoceno pomocí kritéria ODP (potenciál rozpadu ozónové vrstvy) a kritéria HGWP (potenciál globálního oteplování). Pro chladivo R404A je ODP rovno nule. Jako vztažná hodnota bylo zvoleno chladivo R11 s hodnotou ODP = 1. Pro chladivo R404A je hodnota HGWP = 0,83. Naproti tomu byl zvolen vztažná jednotka pro chladivo R11 a to s hodnotou HGWP = 1.

5.2 Kondenzační jednotka

V projektu se budu zabývat dvěma kondenzačními jednotkami firmy Rivacold s firemním označením MXL250Z052. Tyto jednotky jsou konstruovány pro chladivo R404A a mají při výparné teplotě -35°C , chladicí výkon na jednu jednotku činí 14,05 kW.

Jednotka je vybavena:

- Polohermetickým pístovým kompresorem Frascold
- Kondenzátorem s dvěma ventilátory
- Regulací výkonu kondenzátoru
- Nízko – vysokotlakou ochranou
- Rozvaděčem, který obsahuje: hlavní vypínač, časový spínač, signalizaci,

5.3 Výpočet odpadního tepla

- Pomocí programu EES (engineering equation solver) jsem vypočítal potřebné hodnoty entalpií u chladiva R404A, (viz. příloha B)
- Výpočet množství obíhajícího chladiva.

$$\dot{m}_{\text{ch}} = \frac{Q_{\text{chj}}}{i_1 - i_4} \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (\text{rovnice 5.1})$$

$$\dot{m}_{\text{ch}} = \frac{14,05}{198,7 - 140,6}$$

$$\dot{m}_{\text{ch}} = 0,2418 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Kde: Q_{chj} chladicí výkon kondenzační jednotky (viz. kapitola 5.2) [kW]

i_1 entalpie chladiva výstupu z výparníku [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]

i_4 entalpie chladiva vstup do výparníku [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]

- Výpočet tepla z jedné kondenzační jednotky

$$\dot{Q}_t = \dot{m}_{ch} \cdot (i_2 - i_3) [\text{kW}] \quad (\text{rovnice 5.2})$$

$$\dot{Q}_t = 0,2418 \cdot (255 - 175,7)$$

$$Q_t = 13,6 \text{ kW}$$

Kde: \dot{m}_{ch} množství obíhajícího chladiva (rovnice 5.1) [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$]

i_2 entalpie chladiva na vstupu do kondenzátoru [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]

i_3 entalpie chladiva na výstupu z kondenzátoru [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]

5.4 Výměník tepla

Výpočet jsem provedl pomocí bezplatného programu Cairo, který je určen pro výpočet nejvhodnějšího deskového tepelného výměníku z nabídky Secespol. Pro přesné určení potřebuji zadat hodnoty, které jsem musel dopočítat. Jedná se o teplotu chladiva po využití jeho tepla a následně střední logaritmickou hodnotu.

- Výpočet měrné tepelné kapacity c_2

$$c_2 = \frac{i_2}{t_2} [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (\text{rovnice 5.3})$$

$$c_2 = \frac{255}{343,15}$$

$$c_2 = 0,743 [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Kde: i_2 entalpie chladiva na vstupu do kondenzátoru [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]

t_2 teplota chladiva na vstupu do kondenzátoru [K]

- Výpočet teploty t_1''

Vycházím ze základního vzorce, kde následně vyjádřím neznámou teplotu t_1''

$$\dot{m}_{ch} \cdot c_3 \cdot (t_1' - t_1'') = Q_t$$

$$t_1'' = \frac{Q_t}{\dot{m}_{ch} \cdot c_3} + t_1' \quad (\text{rovnice 5.4})$$

$$t_1'' = 70 - \frac{27,2}{0,2418 \cdot 0,743}$$

$$t_1'' = 38,75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Kde: Q_t tepelný výkon z kondenzačních jednotek (rovnice 5.2) [kW]

\dot{m}_{ch} množství obíhajícího chladiva (rovnice 5.1) [kg·s⁻¹]

c_2 měrná tepelná kapacita (rovnice 5.3) [J·kg⁻¹·K⁻¹]

t_1' teplota na kondenzátoru [°C]

- Výpočet střední logaritmické hodnoty. Teplotu vody při vstupu do výměníku stanovuji na 10 °C. Teplota vody na výstupu je potřebná na 60 °C.

$$\Delta t_{stř} = \frac{\Delta t' - \Delta t''}{\ln \frac{\Delta t'}{\Delta t''}} \quad (\text{rovnice 5.5})$$

$$\Delta t_{stř} = \frac{10 - 28,75}{\ln \frac{10}{28,75}}$$

$$\Delta t_{stř} = 17,75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Kde: $\Delta t'$ rozdíl teplot t_1' a t_2' [°C]

$\Delta t''$ rozdíl teplot t_1'' a t_2'' [°C]

t_1' teplota chladiva při vstupu do výměníku (viz. Kapitola 5) [°C]

t_1'' teplota chladiva při výstupu z výměníku (rovnice 5.4) [°C]

t_2' teplota vody při výstupu z výměníku [°C]

t_2'' teplota vody při vstupu do výměníku [°C]

Následně po správném dosazení do programu Cairo mi program nabídne nejvhodnější typy daných výměníků. (viz. příloha C/I)

Jelikož program nedisponuje chladivem R404A, proto vybírám chladivo z nabídky nejvíce podobné entalpiemi a měrnými tepelnými kapacitami chladivu R404A. Opět pomocí programu EES vypočítávám dané entalpie a porovnávám s chladivem R404A. Z daných výběru nejvhodnější volba a přesnosti výpočtu padla volba na chladivo R-502.

Volím výměník od společnosti Secespol s firemním označením LB31-60-2, který je vhodný pro požadovaný návrh.(viz. příloha C/II)

6 Stanovení energetických zisků

Z výpočtu rovnice 5.2 je již vypočten tepelný výkon $2 \times 13,6$ kW. Tento výkon bude použit pro ohřev vody a pro vytápění.

7 Hodnocení projektu

Každý projekt by měl mít závěrečné hodnocení, zda-li byl přínosem v nějakém směru a popřípadě v přesně určených hodnotách.

7.1 Ekonomické hodnocení

V tomto směru se zabývám, zda je finančně návratné, pokud bych si vzal úvěr, můj navržený projekt ohledně využití odpadního tepla.

Zde vycházím z množství odvedeného tepla 27,2 kW (rovnice 5.2), které dále převádím na potřebné MWh.

$$Q_t \cdot 1500 = Q_t \text{ [kWh]}$$

$$27,2 \cdot 1500 = 40800 \text{ [kWh]}$$

$$40800 \text{ [kWh]} = 40,8 \text{ [MWh]}$$

Pokud budu uvažovat o nevyužívání odpadního tepla – pak bychom za normálních podmínek museli zvolit alternativní způsob ohřevu TUV a vytápění. V mém případě by se jednalo o spalování v kotli palivem zemního plynu.

Při použití webového portálu (tzb-info.cz) a dosazení daných hodnot, kdy při ceně 16.18 Kč za m³ zemního plynu, vyjde roční náklady na vytápění a ohřev teplé vody v hodnotě 81.931 Kč. (viz. příloha D)

Samozřejmě investice do zařízení je nemalé a proto musím hodnotit i ekonomickou efektivnost dané investice. Na webovém portálu (tzb-info.cz) je daný kalkulátor pro určení efektivnosti. (viz. příloha E)

Hodnocení životnosti projektu jsem stanovil na 20 let. Investice do zařízení a instalace odhaduji na 500.000 Kč, kde tuto částku si lze vzít na úvěr při běžné úrokové sazbě 7 %. Dobu splacení úvěru stanovuji na 5 let. Při ročním výnosu 81.931 Kč, dále vychází, že celková doba návratnosti se odhaduje již na 12 let.

7.2 Environmentální hodnocení

Pokud bych volil jako alternativní palivo zemní plyn, ročně vznikne několik stovek kilogramu CO₂. Jelikož volím způsob využívání odpadního tepla, tím pádem se omezuje toto alternativní palivo a tím klesá vznik oxidu uhličitého.

- Přepočet na GJ

$$40,8 \cdot 3,6 = 146,88 \text{ [GJ]}$$

- Výpočet množství CO₂

$$146,88 \cdot \frac{200}{3,6} = X \text{ [kg} \cdot \text{CO}_2\text{]} \quad (\text{rovnice 7.1})$$

$$X = 8160 \text{ [kg} \cdot \text{CO}_2\text{]}$$

U tohoto výpočtu jsem vycházel s pomocí webového portálu mpo.cz (ministerstvo průmyslu a obchodu) z daných hodnot emisních faktorů oxidu uhličitého, kde v mém případě pro zemní plyn je hodnota faktoru 0,20 tun CO₂/MWh výhřevnosti paliva.

Z toho vyhodnocuji, že díky využití odpadního tepla ušetřím ročně až 8160 kilogramů oxidu uhličitého.

8 Závěr

Ve své bakalářské práci jsem se zabýval teoretickými a praktickými otázkami spojené s problematikou navrhování odpadního tepla z mrazírny na potraviny.

Jelikož jednotky Rivacold produkují tepelný výkon o $2 \times 13,6$ W a přibližné teplotě $75\text{ }^{\circ}\text{C}$, navrhl jsem využití odpadního tepla pomocí tepelného výměníku, kde se teplo předá chladnějšimu médiu, v tomto případě vodě, která je dále akumulována v zásobníku a v případě potřeby okamžitě k použití pro zaměstnance. Výhodou je zde i chladiivo, které je ekologicky nezávadné a má dobré vlastnosti pro daný typ projektu.

V poslední části práce se zabývám celkovým hodnocením projektu. V první řadě je nezbytná finanční část a to přesněji ekonomická návratnost projektu. Především jsem musel zjistit, kolik při takové spotřebě tepla by byla cena alternativním palivem (zemním plynem). Tato částka je brána jako roční výnos díky snaze omezení tohoto paliva. Pokud bych si částku na projekt vzal na úvěr, tak doba návratnosti je odhadnuta na 12 let. V poslední řadě, kolik díky této metodě využití odpadního tepla „ušetřím“ CO_2 nespálením zemního plynu.

9 Seznam použité literatury

- [1] LANGFELDER, I a kol. Energetika chemického a potravinářského průmyslu. Bratislava: Alfa Bratislava, 1992. ISBN 80-05-00998-4.
- [2] KYSELA, L. Využití druhotných zdrojů energie. Poznámky k přednáškám. Ostrava: katedra energetiky Fakulty strojní VŠB-TU Ostrava 2001, doplněné a opravené, leden 2004 a leden 2007
- [3] Absorbční chladiče: GB Consulting. [online]. [cit. 2012-01-28]. Dostupné z: <http://www.gbconsulting.cz/chlazení.html>
- [4] Luwex: [online]. [cit. 2012-01-28]. Dostupné z: <http://www.luwex.cz/ach.html>
- [5] Swep: absorbční chladiče. [online]. [cit. 2012-01-28]. Dostupné z: <http://www.swep.net/index.php?tpl=page0&lang=cz&id=312>
- [6] CHTS spol s.r.o.: využití odpadního tepla. [online]. [cit. 2012-01-28]. Dostupné z: <http://www.chts.cz/vyuziti-odpadniho-tepla.html>
- [7] Power engineering s.r.o.: využití odpadního tepla. [online]. [cit. 2012-01-28]. Dostupné z: <http://www.pwr.cz/prumysl/vyuziti-odpadniho-tepla/>
- [8] 4-construction: využití odpadního tepla z chladicího zařízení. [online]. [cit. 2012-01-28]. Dostupné z: <http://www.4-construction.com/cz/clanek/vyuziti-odpadniho-tepla-z-chladiciho-zarizeni/>
- [9] Techpark. ECOtechnika [online]. 2008 [cit. 2012-03-30]. Dostupné z: <http://www.ecotechnika.sk/ecotechnika-12010/vyuziti-odpadniho-tepla-z-chladiciho-zarizeni.html>
- [10] Pájené deskové výměníky tepla - Alfa laval: mědí pájené výměníky. Alfa laval [online]. [cit. 2012-03-29]. Dostupné z: <http://local.alfalaval.com/cs-cz/produkty/prenos/deskove/vytapeni/pajene/pages/pajene-vymeniky-tepla.aspx>
- [11] Rivacold: Mx-sx condensing unit. Rivacold [online]. [cit. 2012-03-29]. Dostupné z: http://www.rivacolduk.co.uk/files/rivacold/Products/Split%20systems/MX-SX%20Rev03%2003_07.pdf

[12] Secespol: střední evropa. Secespol [online]. [cit. 2012-03-29]. Dostupné z: <http://www.secespol.cz/cs/software/>

[13] Secespol: deskové pájené výměníky. Secespol [online]. 2000 [cit. 2012-03-29]. Dostupné z: <http://www.secespol.cz/cs/produkty/vymeniky/deskove-pajene/lb31-2/lb31-60-2/>

[14] TZB-info: Finanční kalkulátor pro hodnocení ekonomické efektivnosti investic. TZB-info: stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online]. 2001 [cit. 2012-03-29]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/110-financni-kalkulator-pro-hodnoceni-ekonomicke-efektivnosti-investic>

[15] TZB-info: Porovnání nákladů na vytápění podle druhu paliva. TZB-info: stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online]. 2001 [cit. 2012-03-29]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/269-porovnani-nakladu-na-vytapani-podle-druhu-paliva>

[16] MPO: Obchodování s emisemi. MPO: ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. 2005 [cit. 2012-03-29]. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/dokument6794.html>

10 Seznam příloh

- Příloha A: Technické údaje kondenzační jednotky
- Příloha B: Výpočet pomocí programu EES
- Příloha C/I: Program Cairo
- Příloha C/II: Technický list výměníku
- Příloha D: Porovnání nákladů na vytápění podle druhu paliva
- Příloha E: Finanční kalkulátor pro hodnocení ekonomické návratnosti
- Příloha F: Schéma cirkulačního obvodu

Příloha A: Technické údaje kondenzační jednotky

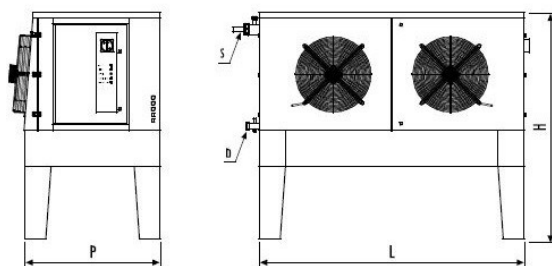
MX

Unità condensatrici serie MX - MX Condensing Units

MX Verflüssigungssätze - Groupes de Condensation MX - Equipos condensadores MX

LBP	Compressore Compressor				PED	Ventilatori - Condensatore Fans - Condenser								Assorbimenti Absorption		Raccordi Pipe fittings		Peso netto Net weight
	Tipo Type	400/250	HP	kW		N°x ø	mc/h	N° Poli No. Poles	280/150	400/250	Assorbimenti Absorptions		T. Evap. -20°C T. Cond. +50°C		D mm	S mm	Kg	
											W	A	Win	FLA				
Codice Code																		
R404A	MXL235Z022	Se	•	3	2,200	1	2x350	4981	4	•		280	1,30	3710	7,80	12	28	206
	MXL235Z032	Se	•	3	2,200	1	2x350	4819	4	•		280	1,30	4600	9,00	12	28	212
	MXL235Z052	Se	•	4	2,940	1	2x350	4495	4	•		280	1,30	5210	10,20	12	28	243
	MXL245Z022	Se	•	5	3,675	2	2x450	10690	4	•		490	2,20	5560	11,50	16	28	287
	MXL245Z032	Se	•	7,5	5,515	2	2x450	10181	4	•		490	2,20	8240	15,77	16	35	332
	MXL245Z052	Se	•	10	7,355	2	2x450	9331	4	•		490	2,20	10680	20,20	16	35	347
	MXL250Z032	Se	•	15	11,030	2	2x500	16128	4	•		1540	6,80	12260	28,30	22	42	430
	MXL250Z042	Se	•	15	11,030	2	2x500	15106	4	•		1540	6,80	15480	32,80	22	42	480
	MXL250Z052	Se	•	20	14,705	2	2x500	14340	4	•		1540	6,80	17790	39,30	22	42	503
	MXL256Z042	Se	•	25	18,380	2	2x560	21644	4	•	2000	3,60	22430	40,90	22	54	661	
	MXL256Z052	Se	•	30	22,060	2	2x560	20838	4	•	2000	3,60	26580	46,70	22	54	697	
	MXL363Z042	Se	•	40	29,410	2	3x630	28723	6	•	2070	3,75	32240	57,35	28	67	857	
MXL363Z052	Se	•	50	36,765	2	3x630	27375	6	•	2070	3,75	37550	68,85	28	80	955		

LBP		Potenza Frigorifera - Refrigeration Output Watt									
		Ta = 32°C					Ta = 43°C				
Codice Code	Te	-20°C	-25°C	-30°C	-35°C	-40°C	-20°C	-25°C	-30°C	-35°C	-40°C
	MXL235Z022	4810	4019	3296	2619	2028	3726	3106	2526	1986	1499
	MXL235Z032	5987	5011	4131	3325	2626	4701	3940	3231	2581	2011
	MXL235Z052	7723	6420	5254	4194	3272	6083	5031	4096	3227	2473
	MXL245Z022	8104	6739	5532	4434	3476	6405	5311	4330	3434	2653
	MXL245Z032	12042	10061	8278	6637	5199	9442	7868	6427	5094	3916
	MXL245Z052	15873	13212	10817	8610	6674	12411	10292	8353	6551	4959
	MXL250Z032	17709	14674	11943	9432	7239	13814	11375	9154	7101	5284
	MXL250Z042	22139	18356	14947	11817	9074	17256	14234	11473	8909	6650
	MXL250Z052	26380	22046	18134	14519	11358	20809	17338	14167	11214	8602
	MXL256Z042	33606	27805	22621	17868	13747	26310	21646	17427	13533	10154
	MXL256Z052	39758	31056	26881	21295	16403	31064	26380	20692	16124	12099
	MXL363Z042	48697	40517	33112	26279	20314	37876	31392	25423	19863	14990
	MXL363Z052	58602	48890	40066	31852	24624	45649	37869	30770	24070	18160



Codice Code	Dimensioni motocondensante Condensing unit dimensions		
	L mm	P mm	H mm
MXL235Z ...	1310	600	1165
MXL245Z ...	1560	750	1460
MXL250Z ...	1835	940	1575
MXL256Z ...	2715	990	1695
MXL363Z ...	3715	990	1695

RIVACOLD

Příloha B: Výpočet pomocí programu EES

Výpočet entalpií u chladiva R404A

$T_1 = -35$

$T_2 = 70$

$x = 1$

$h_1 = \text{Enthalpy}(\text{R404A}; T = T_1; x = x)$

$s_1 = \text{Entropy}(\text{R404A}; T = T_1; h = h_1)$

$h_2 = \text{Enthalpy}(\text{R404A}; T = T_2; s = s_1)$

$h_3 = \text{Enthalpy}(\text{R404A}; T = T_2; x = 0)$

$s_3 = \text{Entropy}(\text{R404A}; T = T_2; x = 0)$

$h_4 = \text{Enthalpy}(\text{R404A}; T = T_1; s = s_3)$

Unit Settings: SI C kPa

$h_1 = 198,7$

$h_2 = 255$

$h_3 = 175,7$

$h_4 = 140,6$

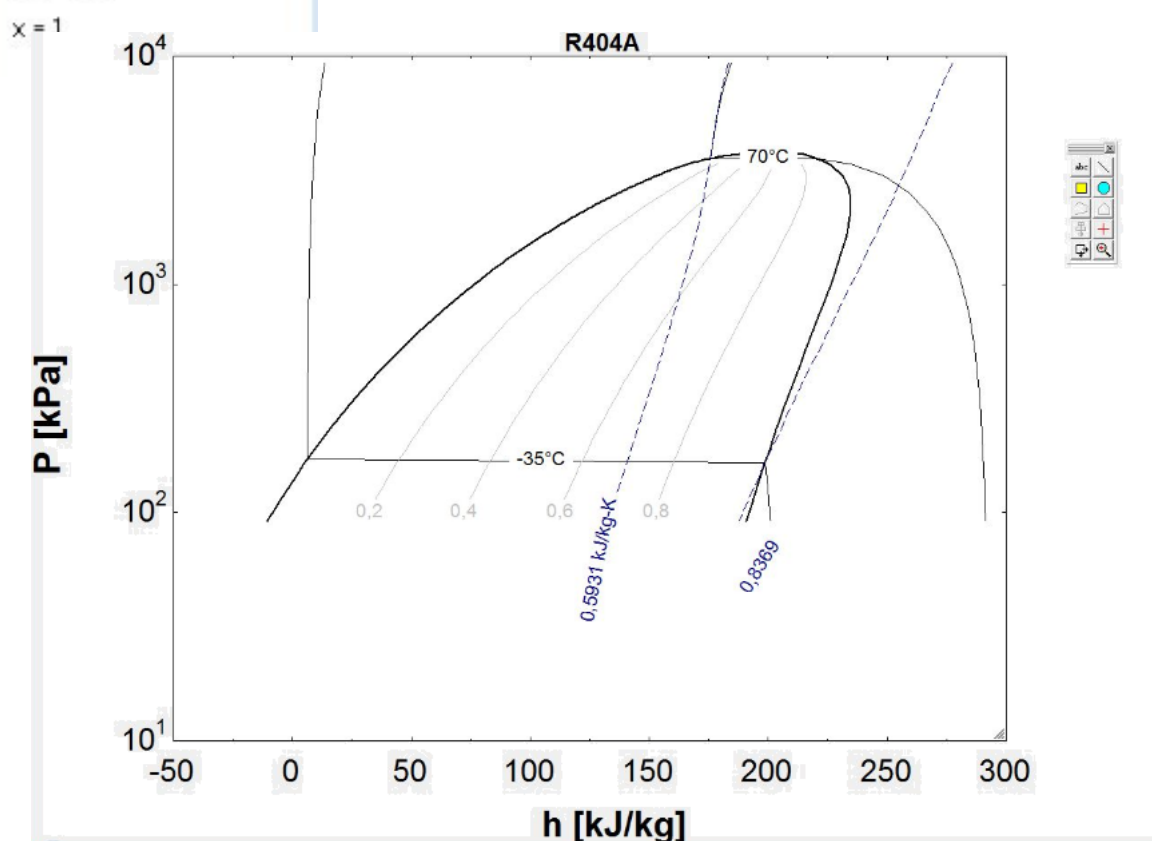
$s_1 = 0,8369$

$s_3 = 0,5931$

$T_1 = -35$

$T_2 = 70$

$x = 1$



Obr. 10-2: P-h diagram chladiva R404A [program EES]

Příloha C/I: Program cairo

Výběr vhodného výměníku tepla

CAIRO 3.4.0

Soubor Výsledky Možnosti nápověda

Jednotky Vlastní

Vybrán podle typu

Kontrolní výpočet Podrobnosti Média

Výkon: 27200,00 W

Rezerva: 5 %

Počet ks sériově: 1

Počet ks paralelně: 1

Teplosměnná plocha: 1,8 m²

LMTD: 12,77 deg.K

Faktor znečištění: 0 m²K/kW

k čistý: 1219,41 W/m²K

k znečištěný: 1164,94 W/m²K

Teplá strana

Médium: R-502

Tlak: 100000,00 Pa

Vstup

Teplota: 343,15 deg.K

Hmotnostní průtok: 28,322319 kg/min

Objemový průtok: 28,959426 l/min

Výstup

Teplota: 299,15 deg.K

Objemový průtok: 23,422361 l/min

Vypočt. tlak. ztráta: 7569,32 Pa

Studená strana

Médium: Water

Tlak: 100000,00 Pa

Vstup

Teplota: 283,15 deg.K

Hmotnostní průtok: 7,810481 kg/min

Objemový průtok: 7,810481 l/min

Výstup

Teplota: 333,15 deg.K

Objemový průtok: 7,953647 l/min

Vypočt. tlak. ztráta: 838,25 Pa

Projekt Zagání Výsledky Návrhový výpočet

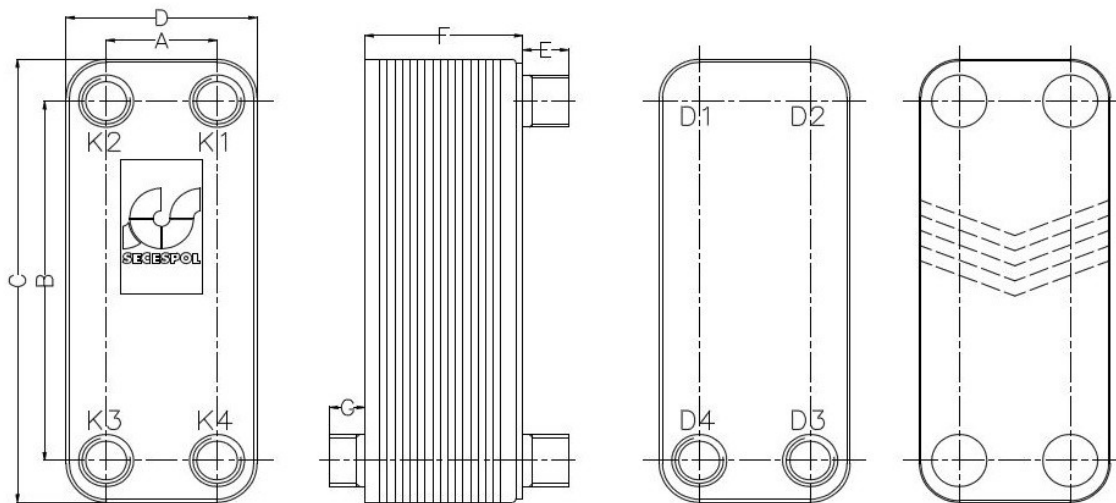
Obr. 10-3: Software Cairo [12]

Příloha C/II: Technický list výměníku

SECESPOL - TECHNIKÝ LIST VÝMĚNÍKU TEPLA

LB31-60-2

Katalogové číslo: 0203-0051



PRACOVNÍ PARAMETRY:

Maximální tlak	30,0 bar
Maximální teplota	230 deg.C
Minimální teplota	-10 deg.C
Medium	Voda, Glykol, Vodní pára Voda,

STANDARDNÍ ZAPOJENÍ: (protiproud)

K1 - hrdlo pro odvzdušnění
K2 - hrdlo pro odvzdušnění
K3 - vstup ohřívaného média
K4 - výstup topného média
D3 - výstup ohřívaného média
D4 - vstup topného média

KONSTRUKČNÍ PARAMETRY:

Teplosměnná plocha	Prolisovaná deska
Typ	
Velikost	1,8 m ²
Objem teplé strany	1,4 l
Objem studené strany	1,4 l
Hmotnost	9,0 kg

ROZMĚRY:

A:	68 mm
B:	232 mm
C:	286 mm
D:	117 mm
E:	28 mm
F:	153 mm
G:	24 mm

TYPY PŘIPOJENÍ:

D3, D4, K3, K4:	Vnější závit	G 1 1/4"
K1:	Vnější závit	G 1 1/4"
K2:	Vnější závit	G 1 1/4"

SECESPOL

SVĚTOVÉ STANDARDY:

Výrobky firmy SECESPOL jsou vyrobeny v souladu se systémem jakosti ISO 9001:2000 a splňují podmínky i následujících světových standardů: PED 97/23/EC

SECESPOL Sp. z o.o., ul. Grunwaldzka 339, 80-309 Gdansk Poland
tel.: +48 58 5521241, fax: +48 58 5521242, info@secespol.pl, www.secespol.pl

CAIRO verze 3.4.0 - Build 0710c.r0

Obr. 10-4: Technický list výměníku tepla [13]

Příloha D: Porovnání nákladů na vytápění podle druhu paliva

Výpočet pomocí webového portálu tzb-info.cz

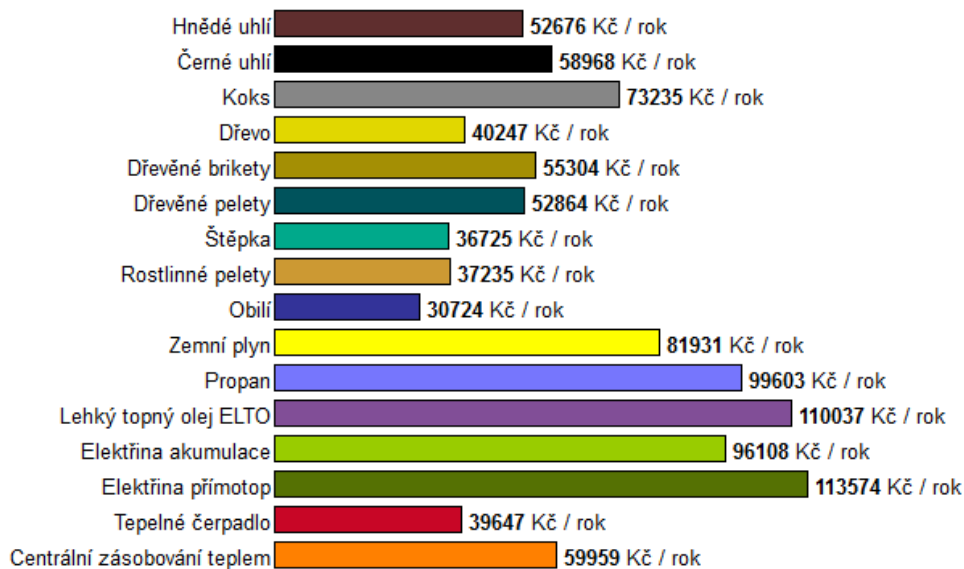
<input checked="" type="radio"/>	Spotřeba tepla:	146,9 GJ = 40,8 MWh
<input type="radio"/>	Spotřeba paliva:	4847 Zemní plyn (m ³) - Kotel běžný (89%)

Náklady na vytápění Výpočtová spotřeba tepla = 146,9 GJ					
Druh paliva (Výhřevnost) (Volba tarifu)	Cena paliva v Kč	Spalovací zařízení (Průměrná účinnost v %) <input type="checkbox"/> zadat vlastní účinnost	Cena tepla <input type="radio"/> Kč/GJ <input checked="" type="radio"/> Kč/kWh	Spotřeba paliva / rok	Náklady na vytápění Kč / rok
Zemní plyn (spalné teplo 37,82 MJ/m ³) oemv Dodavatel: RWE Energie, a.s. Spotřeba plynu: 20000 - 25000 kWh /rok	1,5399 /kWh vztahena ke spalnému teple ??? 16,18 Kč/m³ + 292,56 Kč/měsíc	Kotel běžný (89%) účinnost je vztahena k výhřevnosti ZP ???	2,01	50903 kWh 4847 m ³	81931,-

Obr. 10-5: Finanční náročnost vytápění zemním plynem [15]

Pro zajímavost uvádím i alternativní druhy paliva a jejich náklady na využití

Náklady na vytápění



Obr. 10-6: Porovnání nákladu na vytápění [15]

Příloha E: Finanční kalkulátor pro hodnocení ekonomické návratnosti investic

Výpočet pomocí webového portálu tzb-info.cz

Základní parametry investice		
Doba životnosti projektu	<input type="text" value="20"/>	[počet let] ???
Celková investice do zařízení	<input type="text" value="500000"/>	[Kč] ???
Úvěr nutný pro pořízení zařízení ???		
Úvěr (vypůjčená částka)	<input type="text" value="500000"/>	[Kč]
Úroková sazba	<input type="text" value="7"/>	[%]
Doba splácení úvěru	<input type="text" value="5"/>	[počet let]
Roční výnos z provozovaného zařízení ???		
Roční výnos z pořizovaného zařízení	<input type="text" value="81931"/>	[Kč]
Roční změna výnosu z pořizovaného zařízení	<input type="text" value="3"/>	[%]
Doplňkové parametry investice		
Diskont - výnos alternativní investice	<input type="text" value="3"/>	% ???
Bude se danit zisk z projektu? ???	<input checked="" type="radio"/> Ne <input type="radio"/> Ano	
<input type="button" value="Vypočítat"/>		
VÝSLEDKY		
NPV - čistá současná hodnota projektu:	532419 Kč ???	
Roční ekvivalentní finanční toky investice:	35787 Kč ???	
Doba návratnosti:	12 let ???	
Diskontovaná doba návratnosti:	14 let ???	
IRR - vnitřní výnosové procento investice:	8 % ???	

Obr. 10-7: Finanční kalkulátor [14]

Příloha F: Schéma cirkulačního obvodu

Výkres č. NED0007-A2-01, viz. Volné listy.